الفصل الخامس

١- نقص الأوزون فى الإستراتوسفير:

الانتقال بعيد المدى للتلوث والتفاعلات الكيماوية للغـــازات الجوية أنتج ظاهرة تعرف بثقب الأوزون (Ozone Hole). شكل (٨). ثقب الأوزون هو فى الواقع ترقيق فى تركيز الأوزون فى الإستراتوسفير، الذى أكتشف عـــام ١٩٨٥ بواســطة الأقمـــار الصناعية فوق أنتاركتيكا*، ولكن من المحتمل أن هذا الثقب كان ينمو منذ ستينيات القرن الماضى. الرذاذ الحامل للكلور خاصة الكلورفلوروكاربونز (CFC'S) وغازات الهالوجينات الأخـــرى هى العوامل الرئيسية لنقص الأوزون. لقد اســـتخدمت (CFC'S) كثيرا كغازات صناعية وفى التبريد/تكييف الهـــواء وصـــناعة الفوم وفى الإيروسولات لسنين عديدة. تلك المركبات غير سامة ولاتشتعل وخاملة كيميائيا وإنتاجها غير مكلف. لقد اســـتخدمت

* أنتاركتيكا Antarktica هى قارة غير مأهولة تقع حول القطب الجنوبى.

منذ عام ١٩٣٠ حتى ١٩٨٠ فى كل أنحاء العالم، وانتشرت على اتساع الغلاف الجوى.

رغم أن الأوزون ملوث فى الهواء المحيط، إلا أنه يعتبر مهمًا فى الإستراتوسفير؛ لأنه يمتص الكثير من الأشعة فوق البنفسجية التى تصل إلى الغلاف الجوى. الأشعة فوق البنفسجية ضارة لانسجة الحيوان والنبات بما فيها العيون والجلد. الفقد فى طبقة الأوزون بنسبة ١% يمكن أن ينتج عنه حوالى ما يزيد عن مليون حالة سرطان الجلد فى كل عام حول العالم، فى حالة عدم اتخاذ الإجراءات الاحتياطية. زيادة التعرض للأشعة فوق البنفسجية يمكن أن يقلل من الإنتاج الزراعى، ويسبب الارتباك فى النظم البيئية. يمكن أن تقلل المستويات العالية للأشعة فوق البنفسجية (UV) فى أنتاركتيكا من كمية العوالق النباتية الطافية فى الماء (Plankton)، الكائنات الدقيقة الطافية التى تكون أساس السلسلة الغذائية تشمل: الأسماك، الحيوانات البحرية ذات الرئتين (Seals)، طائر البطريق (Penguins)، والحيتان فى بحار أنتاركتيكا.

تساعد درجة حرارة الشتاء فى إنتاركتيكا الباردة هى من (-٨٥°م إلى -٩٠°م) فى تكسير الأوزون. خلال الشهور الطويلة

الشتوية المظلمة – الرياح القوية المعروفة بالدوامة المحيطة بالقطب أو الدوامة حول القطب (Circumpolar Vortex) تعزل هواء أنتاركتيكا وتسمح بهبوط درجات حرارة الإستراتوسفير بما يمكن من تكوين البللورات الثلجية على ارتفاعات عالية – الشئ الذى نادرا ما يحدث فى أى مكان آخر فى العالم. الأوزون والجزئيات المحتوية على الكلور يتم امتصاصها على أسطح جسيمات الثلج هذه. عند عودة الشمس فى الربيع، فإنها توفر الطاقة لتحرير أيونات الكلور، والتى سريعاً ما تلتصق مع الأوزون حيث تفتته إلى جزئ الأكسجين، كما فى الجدول الآتى:

جدول (٥): تدمير أوزون الإستراتوسفير بواسطة ذرات الكلور وإشعاع UV.

الخطوة	المنتج
١- الكلوروفلورو كاربون + الأشعة فوق البنفسجية	$CFCL_2 + CL$
٢- $O_3 + CL$	$CLO + O_2$
٣- طاقة $UV + O_3$	$2\,O$
٤- $CLO + 2O$	$O_2 + CL$
٥- العودة إلى الخطوة رقم (٢)	

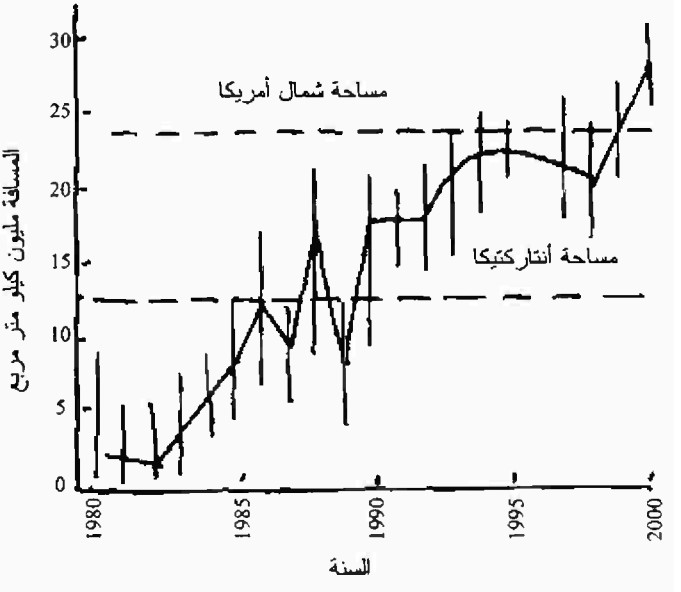
ويكون فقط خلال الربيع فى أنتاركتيكا (من سبتمبر حتى ديسمبر) حيث تكون الظروف مثالية للتدمير السريع للأوزون.

خلال ذلك الموسم تظل درجات الحرارة باردة بما يكفى لدورات الثلج عالية الارتفاع، ولكن الشمس تصبح بالتدريج قوية بما يكفى لدفع التفاعلات الكيمائية الضوئية.. مع وصول فصل الصيف فى إنتاركتيكا، تصبح درجات الحرارة معتدلة إلى حد ما، وتتكسر الدوامة المحيطة بالقطب، حيث يختلط الهواء من خطوط العرض الأكثر دفئًا مع هواء أنتاركتيكا، بما يعيد النقص فى ثقب الأوزون -ينتج انخفاض قليل من هذا الخلط على مستوى العالم، ولكن الأوزون يعاد تكوينه طبيعيًا ولكن ليس بالسرعة التى تم تدميره بها.

ونظراً لأن ذرات الكلور لايتم استهلاكها فى التفاعلات مع الأوزون، فإنها سوف تستمر فى تدمير الأوزون لسنين، حتى ترسب أخيراً أو أن يتم غسيلها من الهواء.

منذ تم اكتشاف ثقب الأوزون فى إنتاركتيكا فى عام ١٩٨٥، فإنه فى عام ١٩٩٨ غطت منطقة نقص الأوزون ٢٧,٣ مليون كيلو متر مربع أو حوالى مساحة أمريكا الشمالية. ولكن هذه الظاهرة تنتشر الآن فى أجزاء أخرى من العالم. حوالى ١٠% من كل أوزون الإستراتوسفير فى جميع أنحاء العالم يتم تدميره خلال فصل الربيع لعام ١٩٩٨، والمستويات

فوق منطقة القطب الشمالى (Arctic) أصبحت بمتوسط ٤٠% دون الطبيعى. لوحظ نقص الأوزون فوق القطب الشمالى بتركيز أقل، شكل (٨).



شكل (٨): زيادة حجم ثقب الأوزون.
منطقة الأوزون المنقوص فوق أنتاركتيكا.
الخطوط الرأسية تمثل أدنى وأقصى مساحة خلال الربيع فى قارة أنتاركتيكا

٢- تركيز طبقة الأوزون طبقاً للارتفاع:

الارتفاع بالكيلومتر	تركيز الأوزون بالجزء فى المليون بالحجم
١٦	١
٣٠	٨
٤٠	٢
١٠٠	صفر

يقاس سمك طبقة الأوزون بوحدات (Dobson Units) (DU).

واحد DU = ٠,٠١ مليمتر من الغاز المضغوط عند صفر درجة مئوية وضغط ٧٦سم زئبق.

الأوزون يتكون طبيعيًا فى الإستراتوسفير بتأثير الأشعة فوق البنفسجية على الأكسجين

$$(1)\quad O_2 \xrightarrow[\lambda = 242nm]{\text{طاقة } (h\nu)} O + O$$

$$(2)\quad O_2 + O + M \rightarrow O_3 + M$$

حيث M جسم ثالث (N_2 مثلا) الذى يمتص الطاقة الزائدة المنطلقة بالتفاعل (2) حيث يستقر جزئ الأوزون.

طبقة الأوزون تعمل كدرع واق لسطح الأرض، حيث إنها تمتص الأشعة فوق البنفسجية (λ = ٢٨٠ – ٣٢٠ نانومتر) المسئولة عن التحول الوراثى المفاجئ للحامض النووى الريبى المنقوص الأكسجين (DNA Mutation)* وسرطان الجلد طبقاً للمعادلة:

$$O_3 + hv \text{ (طاقة)} \xrightarrow{\lambda = 280 - 320\ nm} O2 + O$$

كذلك فإن الأشعة فوق البنفسجية يمكن أن تساهم فى دفء الأرض.

عوامل استنزاف طبقة الأوزون:

الثلاثة عوامل المهمة بفعل الإنسان ذات التأثير على طبقة الأوزون:

أ- الانبعاث المباشر لغازات N_xO بواسطة الطائرات الأسرع من الصوت.

ب- استخدام مادة الكلوروفلوروكاربون.

جـ- زيادة الاستخدام للأسمدة النيتروجينية.

* DNA = Deoxyribonucleic Acid

سمك طبقة الأوزون أصبح أقل من (200 DU)، والمعروف بأسم ثقب الأوزون.

عواقب استنزاف طبقة الأوزون:

استنزاف طبقة الأوزون يمكن الأشعة فوق البنفسجية التي تصل إلى الأرض من الآتي:

(١) سرطان الجلد، سرطان الدم (ابيضاض الدم – Leu Kemina) هرم المبسترين (Premature Aging) الشعور بالحروق... إلخ.

(٢) يؤدى إلى الاحترار أو الدفء الكوكبى بما يسبب ذوبان الجليد فى الجبال القطبية، غمر المناطق الساحلية، الفقد فى الإنتاج العالمى للغذاء.. إلخ.

(٣) زيادة تبخر المياه السطحية فى الأوراق النباتية وخفض محتوى التربة من الرطوبة.

(٤) يسبب الانخفاض بنسبة ٢٠-٢٥% من الكلوروفيل فى النبات.

(٥) يمكن أن يشكل خطورة على حياة الإنسان.

٣- علامات التقدم:

اكتشاف الفقد فى أوزون الإستراتوسفير حقق استجابة دولية سريعة ملحوظة. فى عام ١٩٨٧، صدر عن اللقاء الدولى فى مونتريال فى كندا بروتوكول مونتريال، وهو أول العديد من الاتفاقيات الدولية الرئيسية نحو تطوير معظم استخدامات (CFC's) بحلول عام ٢٠٠٠. مع تراكم الشواهد التى تبين أن العقد كان كبيراً وأكثر انتشارا عما كان عليه من قبل، فإن آخر موعد للتخلص من كل (CFC's) (الهالوجينات، رابع كلوريد الكربون، ميثايل كلوروفورم) قد تحرك إلى عام ١٩٩٦. تم وضع استثمارات بمقدار ٥٠٠ مليون دولار لمساعدة الدول الفقيرة فى التحول إلى تقنيات غير مستخدمة لـ CFC's. ولحسن الحظ كانت تلك البدائل موجودة مسبقاً. أول البدائل هو (Hydrochloro Fluoro Carbons) (HCFC's) الذى يطلق القليل جدًا من الكلور لكل جزئ. ونأمل توفير جزئيات خالية من الكلور التى تعمل بالطريقة نفسها، ولاتكون أكثر تكلفة عن (CFC's).

٤- توجد شواهد نحو حظر استخدام (CFC's)

قد أصبح لهبوط إنتاج CFC's بما يقرب من ٨٠% منذ عام ١٩٨٩ تأثير فى الدول الصناعية، الآن تتم إزالته من الغلاف الجوى بأسرع مما كان يضاف. فى خلال ٥٠ عامًا تقريباً يتوقع أن تعود مستويات الأوزون فى الجو ثانياً إلى حالتها الطبيعية. ولكن لسوء الحظ لا يوجد جانب سلبى لإيقاف تدمير الأوزون، حيث الأوزون غاز احتباس حرارى، وخفض مستويات الأوزون عوضًا عن تأثير زيادة CO_2. عند إعادة تخزين الأوزون، فإن الدفء العالمى قد يزاد؛ لذلك فإنه كما هو الحال، فإننا عندما نتحدث عن إضطراب لأحد عوامل البيئة، فإننا نؤثر على العوامل الباقية الأخرى.